

FORMULAIRE DE THERMODYNAMIQUE

- **Gas parfait** : $P \cdot V = n \cdot R \cdot T$
 $P_{Pa} \rightarrow \uparrow$ $V_{m^3} \rightarrow \uparrow$ $n_{mol} \rightarrow \uparrow$ $T_K \rightarrow \uparrow$
- **Pression** : $P = \frac{F}{S}$

Coefs. thermoélastiques

$$\alpha = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P \quad \chi = -\frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial P} \right)_T \quad \beta = \frac{1}{P} \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_V$$

- **Premier principe** : $\Delta U = W_{1 \rightarrow 2} + Q_{1 \rightarrow 2} \Rightarrow dU = \delta W + \delta Q$
 Transfert d'énergie (travail) \rightarrow \leftarrow Transfert thermique

- **Transfert d'énergie élémentaire** : $\delta W = -P \cdot dV$
 $\Rightarrow W = \int_i^e -P \cdot dV$

\rightarrow Si P constante : $W = -P(V_2 - V_1)$

\rightarrow Sinon, $P = \frac{nRT}{V}$: $W = -nRT \int_i^e \frac{dV}{V} = -nRT \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)$

À volume constant (solides et liquides) : $dV = 0$ donc $\delta W = 0$

- **Échange de chaleur** : $\Delta U = m \cdot C \cdot \Delta T = n \cdot c \cdot \Delta T$
 capacité calorifique massique \rightarrow capacité calorifique molaire

- **Enthalpie** : $H = U + PV$
 $\Rightarrow dH = \delta Q - PdV + PdV + VdP = \delta Q + V \cdot dP$

\rightarrow Si P constante, $\Delta P = 0$ donc : $H = Q + V \Delta P = Q$

- **Lois de Joule** : Pour les gaz parfaits

① $U = U(T)$ ② $H = H(T)$

Conversions utiles

1 bar = 10^5 Pa

1 m^3 = 1000 L

$K = ^\circ C + 273,15$

- Capacités thermiques : $C_v = \left(\frac{dU}{dT}\right)_v$ et $C_p = \left(\frac{dH}{dT}\right)_p$

[J/K] si corps composé, [J.K⁻¹.mol⁻¹] si corps pur
 [J.K⁻¹.kg⁻¹]

$\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ Rmq : On peut écrire C_v et C_p par GP (Pois de Joule)

Pour les gaz parfaits : $C_p - C_v = nR$ (Relation de Mayer)

- $C_v = \frac{nR}{\gamma - 1}$
- $C_p = \frac{nR\gamma}{\gamma - 1}$

Lois de Laplace

$P \cdot V^\gamma = cte$ $P^{1-\gamma} \cdot T^\gamma = cte$ $T \cdot V^{\gamma-1} = cte$

Gaz parfait, transformation adiabatique réversible

- Second principe : $\Delta S = S^e + S^c \Rightarrow dS = \delta S^e + \delta S^c$
 [J/K] → entropie échangée → entropie créée

$S_{A \rightarrow B}^e = \int_A^B \frac{\delta Q^e}{T_e}$ ← quantité de chaleur échangée
 ← température extérieure

Si la transformation est adiabatique : $\delta S^e = 0$

→ Si transformation réversible : $\delta S^c = 0$ et $S^c = 0$

→ Sinon : $\delta S^c > 0$ et $S^c > 0$

Isentropique = adiabatique et réversible

- 1^{ère} identité : $dU = T \cdot dS - P \cdot dV$

- 2^{ème} identité : $dH = T \cdot dS + V \cdot dP$

- Variation d'entropie par un GP :

→ (T, V) : $\Delta S_{1 \rightarrow 2} = \frac{nR}{\gamma - 1} \ln \left(\frac{T_2 \cdot V_2^{\gamma-1}}{T_1 \cdot V_1^{\gamma-1}} \right)$

$$\rightarrow (T, P) : \Delta S_{1 \rightarrow 2} = \frac{nR\gamma}{\gamma-1} \ln \left(\frac{T_2 \cdot P_2^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}}{T_1 \cdot P_1^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}} \right)$$

$$\rightarrow (P, V) : \Delta S_{1 \rightarrow 2} = \frac{nR}{\gamma-1} \ln \left(\frac{P_2 \cdot V_2^\gamma}{P_1 \cdot V_1^\gamma} \right)$$

- Variation d'entropie pour une phase condensée :

$$\Delta S_{1 \rightarrow 2} = C \cdot \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right)$$

Pour un corps pur : $\Delta S_{1 \rightarrow 2} = m C \cdot \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right)$

- Variation d'entropie d'un thermostat :

$$\Delta S_{1 \rightarrow 2} = \frac{-Q_e}{T_s}$$

- Moteur thermique : $W < 0 ; Q_c > 0 ; Q_f < 0$

- Récepteur thermique : $W > 0 ; Q_c < 0 ; Q_f > 0$

- Inégalité de Clausius - Carnot : $\frac{Q_c}{T_c} + \frac{Q_f}{T_f} \leq 0$

- Rendement d'un moteur thermique : $\eta = \frac{-W}{Q_c} = 1 + \frac{Q_f}{Q_c}$

De plus, on a $\eta_{\max} = 1 - \frac{T_f}{T_c}$

- Efficacité d'un réfrigérateur : $e = \frac{Q_f}{W} = - \frac{1}{1 + \frac{Q_c}{Q_f}}$

De plus, on a $e_{\max} = \frac{T_f}{T_c - T_f}$ $-(Q_c + Q_f)$ par 1^{er} principe

- Efficacité d'une pompe à chaleur : $e = \frac{-Q_c}{W} = \frac{1}{1 + \frac{Q_f}{Q_c}}$

De plus, on a $e_{\max} = \frac{T_c}{T_c - T_f}$